

ビニルシランを用いた SiC 薄膜形成の *in-situ* リンドーピング原料探索

[研究代表者] 竹内和歌奈 (工学部電気学科)

研究成果の概要

ワイドバンドギャップ半導体であるシリコンカーバイド (SiC) は高い熱的・化学的安定性、絶縁破壊電界強度、高い熱伝導率を持ち、パワーデバイス、耐環境デバイスやバイオ応用にまで広がっている。これら、デバイス形成においてドーピング技術は必須となる。我々はこれまでビニルシラン原料を用いて、低温で SiC の成長を行ってきた。これまで SiC 形成中に PF₃ を同時供給することでリンドーピングを達成してきたが、PF₃ は利用効率が悪いことが大きな課題である。そこで、本研究ではさらに低温での分解が期待できるジフェニルホスフィン (DPP) を用いてリンドーピングを試みた。DPP でも従来の PF₃ 同様にリンが導入され抵抗率の減少が得られた。また、PF₃ に比べ、少量で大量の P が導入されたことから利用効率の改善を図ることが出来た。一方で、大量に導入されたため、DPP のリガンドであるベンゼン環も多く導入された。少量での導入制御が必要であることがわかった。

研究分野: 半導体デバイス、デバイス評価、半導体結晶成長

キーワード: シリコンカーバイド (SiC)、半導体電極

1. 研究開始当初の背景

シリコンカーバイド (SiC) はワイドバンドギャップ半導体であるため、高い熱的安定性、化学的安定性、高い絶縁破壊電界強度、高い飽和ドリフト速度、高い熱伝導率を持つことから、パワーデバイスへの実用化が進んでおり、さらに高温 CMOS、温度・圧力センサー、撮像デバイス、などの耐環境デバイス応用への研究が進められている。また近年では、酸化還元電位がバンドギャップ内にあることから、水素を生成させる光電極への応用や化学的に不活性であることから、生体センサー類の電極、細胞培養基板などバイオ応用まで応用範囲が広がっている。

我々はこれまで、ビニルシラン原料を用いて熱化学気相成長 (CVD) 法で Si 基板、石英、金属 (銅板他) 基板への成長を行ってきた。ビニルシラン原料は C-Si の結合を持つハイブリッド原料であり、従来使われてきたシラン (SiH₄) とプロパン (C₃H₈) ガスの混合に比べて低温で分解できるため、熱 CVD 成長において低温形成可能である。また、原料分解後、Si-C 結合が残る為、単一原料で SiC が形成できる利点がある原料である。デバイスや電極応用などに向けてはドーパントの導入が必要である。

これまでビニルシラン原料にリン原料として、PF₃ 原料

を成長中に導入してリンドープ SiC 膜の形成を行ってきた。トリフェニルリンではドーピング出来ない知見が得られた一方、PF₃ ドーパントガスの導入により、膜中のリンの検出および低抵抗化は達成できた。しかし、利用効率が悪い為、更なるリン原料の探索が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的として利用効率が良く、膜質の良いリンドーピング SiC 薄膜を得るために、リン原料を変えて、*in-situ* ドーピングを行い、SiC 薄膜の膜質、抵抗率、電極性能を調べた。

3. 研究の方法

SiC 薄膜は熱化学気相成長 (CVD) 法を用いて成長を行った。SiC 原料はビニルシラン、ドーピングガスとして、図 1 に示す、PF₃、ジフェニルホスフィン (DPP) を用いて、それぞれ真空チャンバー内に混合し成長を行った。DPP は液体原料であるため、Ar ガスを導入しバブリングによりガス化して供給を行った。成長温度は約 800°C である。結合評価をフーリエ変換赤外分光法 (FT-IR)、X 線光電子分光法 (XPS)、抵抗率評価では膜厚は走査型電子顕微鏡 (SEM:

日本電子株式会社 (JSM-6700F)、抵抗は4探針測定法を用いて行った。

4. 研究成果

図2に示すSi基板上に成長させたSiC薄膜の典型的な断面SEM像である。1時間の成長時間でおおよそ500nm程度成長できる条件である。図3(a)はPF₃流量が異なる条件で成長させたSiC薄膜のFT-IRの結果である。全ての条件でSi-C結合が観測できた。また、PF₃流量が増加してもSi-C結合に大きな変化は見られなかった。図3(b)にDPPとPF₃、ドーパントなしで比較した結果を示す。DPPでは残留C-Hxのブロードなピークは見られない一方で、Si-C結合ピークには大きな変化は見られなかった。

そこで、ドーパントが異なる試料の抵抗率とXPS測定から得られたSi-CとP組成比(I_P/I_{Si-C})の結果を図4に示す。ここではドーピングなしの試料では抵抗率が高く測定できなかったため、ドーピング試料のみとなっている。DPPはPF₃に比べてI_P/I_{Si-C}が大きくなっている。しかし、組成がほぼ一定であるのに抵抗率が変化する結果となった。これは、リンの導入量以外のところでキャリア密度が決まっていることを示唆している。

図5にDPPを導入したSiC薄膜のラマン分光測定結果を示す。DPPの導入量増加に伴い、C-C由来の結合が増加していることがわかる。これはDPPのリガンドのベンゼン環が十分に分解されず取り残されたか、分解後脱離されず取り込まれた結果と考えられる。バブリングによるArガスの流量から考えてDPPはPF₃に比べて供給効率が良いと考えられる。今回の条件ではDPP供給量が多いため、未分解のリガンドが多く取り残された可能性があり、DPPを使用する場合は更に供給量を下げることがわかった。

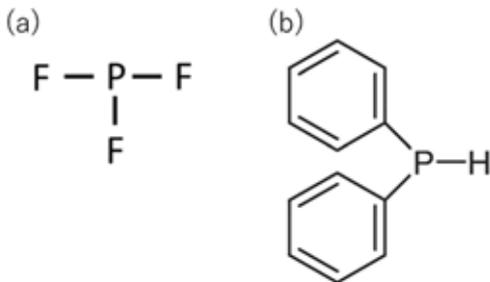


図1. (a) PF₃、(b)ジフェニルホスフィン化学構造式

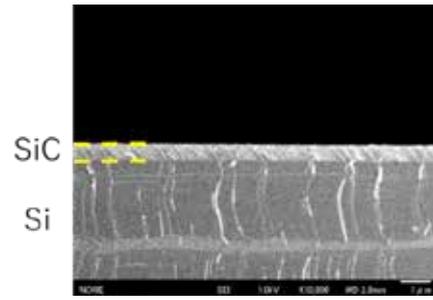


図2. SiC/Si基板の断面SEM像

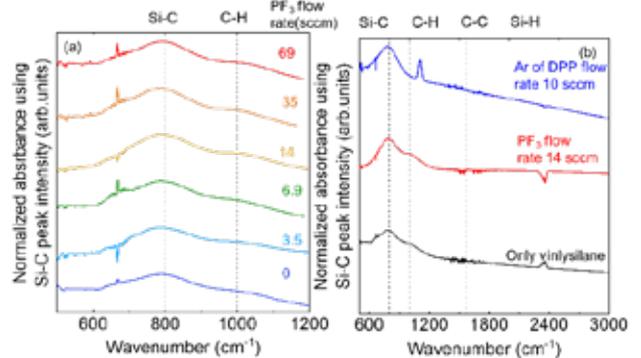


図3 リンドープSiC薄膜のFT-IR結果(a)異なるPF₃流量の結果、(b)PF₃、DPP、ドーパントなしの結果の比較。

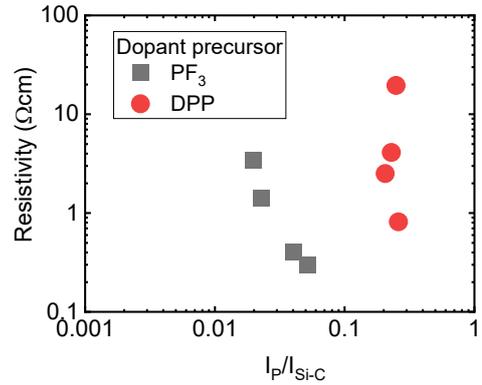


図4 異なるドーパント原料を用いたSiC薄膜の抵抗率とXPS測定から得られたPとSiC組成比

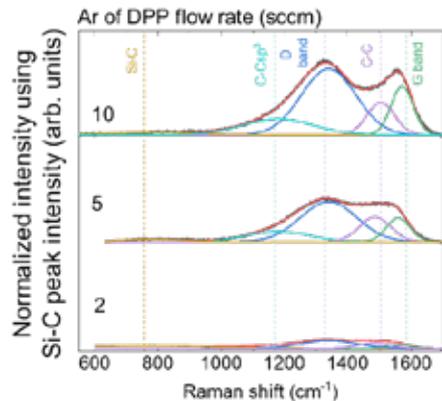


図5 DPPを導入したSiCのラマン測定結果